

Pemodelan Konverter AC – DC Tiga Fasa Dua Arah Pada Sepeda Listrik Menggunakan Metode SPWM

Hellga Afdilah Putri*, Amir Hamzah**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya KM 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

E – mail : afdilah.hellga@gmail.com

Abstrak

This study is aimed to design and analyze bidirectional converter three phase by using method SPWM on electric bike. This study discusses the three-phase inverter with Sine Pulse Width Modulation (SPWM) method as a three-phase induction motor drive and also the rectifier which has function to convert the AC voltage of the source of three-phase AC into DC voltage that is modeled by using Matlab / Simulink. The purpose of this study is to get the design of the three-phase inverter SPWM as a three-phase induction motor drive 500 W, 30 V, and 50 Hz. The inverter design using battery voltage 48 V. Besides that to getting rectifier mode design that is aimed to fill a 48 Volt DC battery that is a driving source an induction machine when that is not driven from PLN. The results of the analysis inverter mode performed on the motor no-load conditions (zero load). Through simulation with Matlab software is then obtained curve of sinusoidal voltage box 48 Volt, current 2,5 Ampere, and speed of the motor by SPWM controlled system. Then, the simulation results in rectifier mode is done with Matlab software value obtained 52.03 Volt battery charging voltage and battery charging current is 7.977 Amperes.

Keyword : Three Phase Inverter, Sine Pulse Width Modulation (SPWM), Three Phase Induction Motor, Matlab/ Simulink, Electric bike, Rectifier.

I. Pendahuluan

Sekarang ini perkembangan energi terbarukan semakin canggih dan modern, banyak berkembang sumber energi alternatif yang dikonversi menjadi energi listrik. Pada umumnya hasil dari konversi tersebut masih berupa sumber tegangan dan arus searah. Sehingga agar dapat dimanfaatkan lebih luas untuk berbagai kebutuhan perlu dikonversi menjadi sumber tegangan dan arus bolak-balik. Hasil konversi arus searah menjadi arus bolak-balik tersebut dapat dimanfaatkan di berbagai bidang khususnya sektor industri. Dimana di sektor industri banyak digunakan motor tiga fasa sebagai salah satu mesin penggerak. Sehingga untuk mendukung kerja di sektor tersebut, maka diperlukan konverter yang mampu mengkonversi arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) dan

mengkonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) (Faradisayah Nugrahani, 2012).

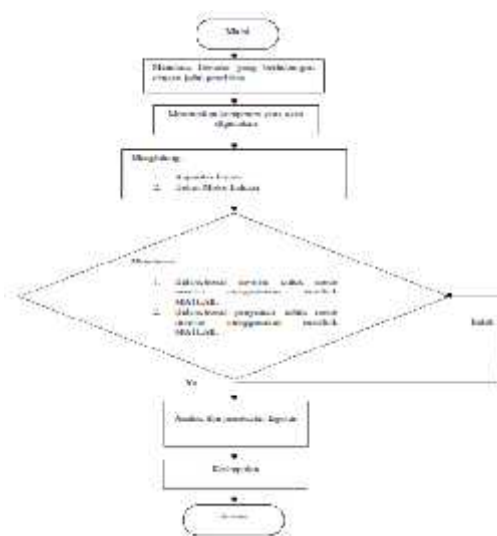
Dalam penelitian ini akan dirancang suatu konverter AC – DC tiga fasa dua arah sebagai pencatu tegangan motor induksi pada aplikasi sepeda listrik dengan pola penyaklaran SPWM. Dimana konverter ini terdiri dari enam buah mosfet sebagai komponen saklar.

II. Metodologi Penelitian

Pada bagian ini akan dirancang converter AC – DC dua arah menggunakan metode SPWM pada sepeda listrik. Perancangan ini. Pada penelitian ini penulis akan melakukan penelitian dengan mensimulasikan desain konverter AC – DC tiga fasa dua arah menggunakan metode SPWM pada software Simulink MATLAB R2013a untuk simulasi dan analisis.

Perancangan ini dilakukan dalam dua mode, yaitu: mode inverter dan mode penyearah. Setelah dilakukan perhitungan parameter – parameter yang diperlukan kemudian langsung diterapkan pada software matlab untuk dilakukan simulasi baik mode inverter ataupun mode rectifier. Setelah mendapatkan simulasi yang sesuai selanjutnya dapat dilakukan analisa terhadap simulasi tersebut.

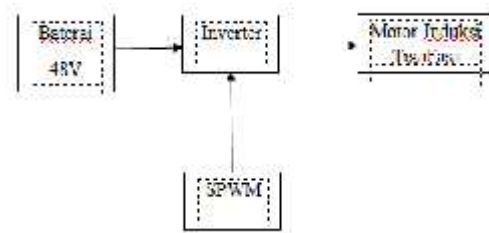
III. Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

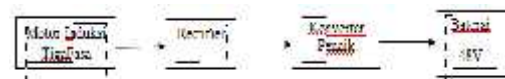
A. Blok Diagram Penelitian

Pada penelitian ini dapat diketahui dua buah blok diagram yaitu mode inverter dan mode rectifier. Untuk mode inverter dalam desain ini perlu diketahui terlebih dahulu data dari beban inverter dan sumber inverter. Beban inverter disini adalah motor induksi tiga fasa 30 VLL dan baterai 48 Volt. Sesuai dengan data motor tersebut, maka diperlukan tegangan output puncak inverter 42,43 Volt. Setelah diketahui data – data yang diperlukan maka dibuat blok diagram penelitian. Adapun blok diagram penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok Diagram Penelitian Inverter

Selanjutnya untuk desain mode rectifier ini perlu diketahui terlebih dahulu data dari dan sumber rectifier. Sumber rectifier disini adalah sumber tegangan tiga fasa 30 VLL dan baterai 48 Volt. Sesuai dengan data tersebut, maka diperlukan tegangan puncak sumber AC tiga fasa 24,5 Volt. Kemudian dikarenakan sumber DC (baterai) sebesar 48 volt, maka diperlukan konverter penaik (*Boost Converter*). Setelah diketahui data – data yang diperlukan maka dibuat blok diagram penelitian. Adapun blok diagram penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Blok Diagram Penelitian Rectifier

B. Desain Mode Inverter Tiga Fasa

Model rangkaian dari inverter PWM tiga fasa ditunjukkan pada gambar 3.7. Inverter tiga fasa ini mendapatkan inputan dari sumber DC sebesar 48 volt dan memiliki beban berupa motor induksi sebesar 30 volt.

Pada mode ini, tegangan masukan DC akan diubah menjadi tegangan keluaran AC. Kemudian tegangan DC diolah menjadi tegangan AC pada rangkaian inverter yang menggunakan pensaklaran MOSFET.

Tegangan DC akan dikontrol oleh kombinasi saklar S1 – S6. Saklar S1 – S6 adalah enam buah saklar daya (mosfet)

yang membentuk output, Proses konversi DC ke AC ini dilakukan dengan metode SPWM. Kemudian desain inverter ini akan dimodelkan ke dalam *software* Simulink Matlab.

C. Desain Mode Rectifier Tiga Fasa

Model rangkaian dari penyearah ditunjukkan pada gambar 3.8, tegangan masukan dari sumber AC 3 fasa diubah menjadi tegangan keluaran DC. Selama mode penyearah ini, tegangan AC 3 fasa yang bertegangan 30Vac mengirimkan tegangan AC yang kemudian disearahkan pada penyearah. Nilai tegangan keluaran penyearah adalah sebesar 40.52 Vac. Setelah tegangan AC dikonversikan menjadi tegangan DC oleh penyearah, tegangan DC tersebut menuju rangkaian penyearah penaik. Rangkaian penyearah penaik ini digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan yang sesuai untuk mengisi baterai DC 48 Volt yang berfungsi untuk menggerakkan mesin induksi tiga fasa ketika tidak digerakkan melalui PLN. Lalu, tegangan dan arus hasil keluaran penyearah penaik ini ialah sebesar 52.03 Vdc dan 7.977 Amp.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa sumber tegangan tiga fasa memiliki keseimbangan daya karena dipasok oleh tiga fasa a, b, dan c. Hanya satu diode dibagian atas jembatan yang bekerja pada satu waktu (D1, D3 atau D5). Hanya satu diode pada bagian bawah jembatan yang dapat bekerja pada satu waktu. D1 dan D4, D3 dan D6 juga D5 dan D2 tidak dapat dilewati arus pada saat yang sama.

Beban output tegangan adalah salah satu line to line tegangan dari sumber. Misalnya ketika D1 dan D2 menyala, maka tegangan outpt tersedia. Dioda yang ada ditentukan oleh tegangan line to line dimana yang tertinggi pada saat itu.

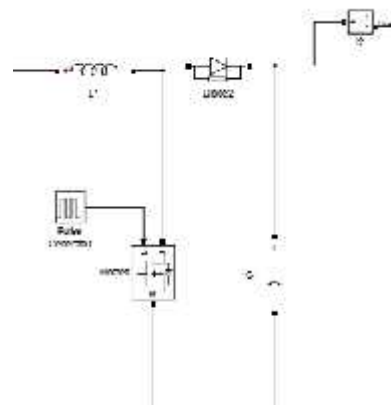
Berikut ini perhitungan tegangan keluaran pada penyearah, yaitu:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 1,654 \times V_m \\ &= 1,654 \times 24,5 \\ &= 40,52 \text{ Volt} \end{aligned}$$

D. Desain Konverter Penaik

Rangkaian konverter penaik ini dibutuhkan untuk memenuhi tegangan yang dibutuhkan oleh beban penyearah yaitu baterai dengan tegangan 48 Vdc. Jenis konverter penaik yang digunakan adalah *boost converter*.

Kegunaan penyearah penaik ini yaitu untuk meningkatkan tegangan keluaran dari penyearah. Dalam skripsi ini penyearah penaik digunakan untuk meningkatkan nilai tegangan keluaran penyearah pada sisi beban. Penyearah berfungsi untuk mengisi baterai yang digunakan untuk menggerakkan mesin induksi ketika tidak diberi suplay listrik dari PLN. Berikut ini merupakan rangkaian skematis dari penyearah penaik.



Gambar 3.9 Rangkaian Skematis Penyearah Penaik

IV. Analisis Hasil Dan Pembahasan

A. Umum

Konverter AC – DC dua arah merupakan konverter yang dapat bekerja secara dua arah (*bidirectional*) yaitu bekerja

dengan masukan tegangan dari kedua arah. Terdapat dua mode pada konverter dua arah ini, yaitu mode inverter dan mode penyearah. Mode inverter adalah mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Tegangan masukan DC dari baterai dikonversikan menjadi tegangan AC yang diproses pada rangkaian inverter. Rangkaian inverter menggunakan pensaklaran MOSFET. Pensaklaran MOSFET ini diatur oleh SPWM, yaitu dengan cara membandingkan tegangan referensi dengan tegangan keluaran. Sedangkan mode rectifier digunakan untuk menyearahkan tegangan AC dari sumber AC tiga fasa yang digerakkan melalui PLN. Mode penyearah berfungsi untuk mengkonversi tegangan AC dari sumber AC tiga fasa menjadi tegangan DC yang bertujuan untuk mengisi baterai DC sebesar 48 Volt yang merupakan sumber penggerak mesin induksi ketika tidak digerakkan dari PLN. Tegangan keluaran DC ini diproses pada penyearah (dioda). Setelah tegangan masukan AC dari sumber AC tiga fasa disearahkan dan menghasilkan tegangan DC, maka tegangan DC tersebut dinaikan menggunakan rangkaian penyearah penaik. Rangkaian penyearah penaik ini berfungsi untuk mendapatkan nilai tegangan yang sesuai untuk mengisi baterai DC 48 Volt

Dalam skripsi ini, Software MATLAB digunakan untuk merancang mode inverter tiga fasa dengan metode SPWM dan juga mode penyearah. Pada bab ini akan ditampilkan gambar keseluruhan sistem dari dua mode pada konverter dua arah ini, yaitu mode inverter dan mode penyearah serta penulis juga akan menampilkan hasil simulasi berupa karakteristik dari keluaran inverter tiga fasa dan kecepatan motor serta karakteristik penyearah.

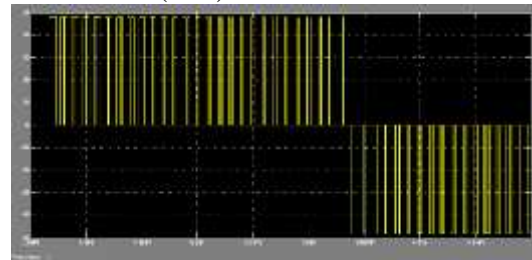
B. Simulasi dan Analisis Mode Inverter

Analisa pertama yang dilakukan yaitu mode inverter seperti pada gambar 4.1. Untuk menganalisa mode inverter ini

dilakukan simulasi mode inverter pada Simulink MATLAB R2013a.

Pada mode inverter ini, tegangan masukan DC akan diubah menjadi tegangan keluaran AC. Untuk memperoleh tegangan AC mendekati sinusoidal digunakan MOSFET secara bergantian yang dikendalikan menggunakan teknik SPWM yaitu dengan cara membandingkan sinyal sinus dan sinyal segitiga. Berikut ini adalah hasil keluaran dari rangkaian *bidirectional* inverter mode inverter.

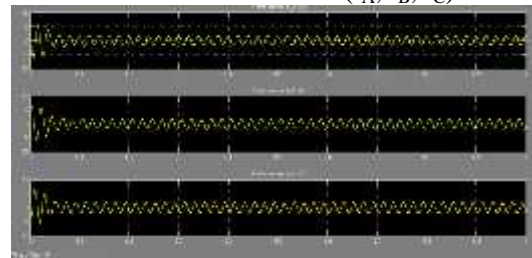
1. Tegangan output inverter fasa ke fasa (V_{ab})



Gambar 4.2 Tegangan Output Inverter Fasa ke Fasa

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hasil simulasi berupa gelombang tegangan berbentuk sinus kotak, tegangan puncak fasa ke fasa yang terukur pada simulasi adalah 48 Volt.

2. Arus beban inverter (i_A , i_B , i_C)



Gambar 4.3 Arus Beban Inverter

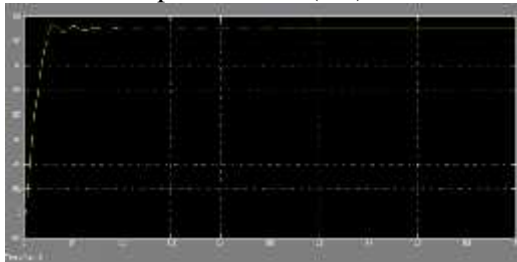
Dengan mengabaikan arus starting motor, pada gambar 4.3 Nilai arus puncak motor sebesar 2,5 A pada saat frekuensi 50 Hz. Untuk menghitung daya motor pada saat 2,5 A dengan faktor daya 0,7 adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times I \times V_{LL} \times \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} \times 2,5 \times 50 \times 0,7$$

$$P = 151,55 \text{ watt}$$

3. Kecepatan Motor (ω_r)

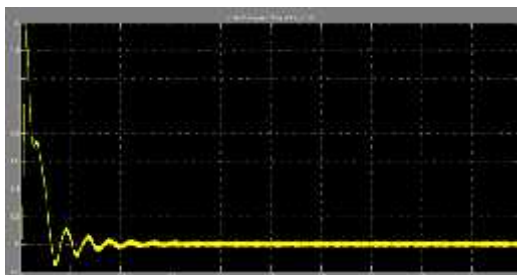


Gambar 4.4 Kecepatan Rotor (n_r)

Pada gambar 4.4 merupakan hasil simulasi dari kecepatan rotor motor induksi tiga fasa saat frekuensi 50 Hz. Dimana dapat dilihat pada saat $t=0,9$ nilai kecepatan (n_r) adalah 750 rpm.

4. Karakteristik Motor Induksi saat sepeda Listrik tanpa beban

Dalam simulasi ini, pembebanan sepeda listrik disimulasikan dengan memberi input torsi mekanik pada motor. Torsi (*torque*) merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. Pada gambar 4.5 akan ditunjukkan torsi elektromagnetik ketika motor tanpa diberi beban (Torsi beban = 0).



Gambar 4.5 Torsi Elektromagnetik Motor Saat Torsi Beban Nol

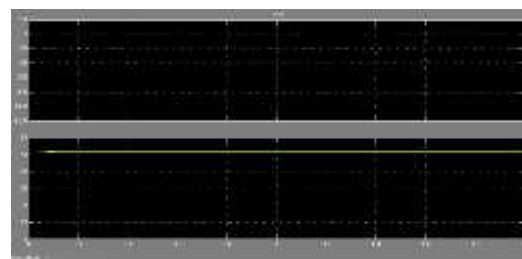
C. Simulasi dan Analisis Mode Rectifier

Analisa kedua yang dilakukan yaitu dengan menggunakan simulasi mode penyearah seperti pada gambar 4.6 Untuk menganalisa mode penyearah ini dilakukan simulasi mode penyearah pada Simulink MATLAB R2013a.

Pada mode penyearah ini, tegangan masukan dari AC tiga fasa dikonversikan menjadi keluaran DC. Pengkonversian tegangan AC menjadi tegangan DC ini bertujuan untuk mengisi baterai 48 Volt yang nantinya akan berfungsi sebagai sumber cadangan untuk menggerakkan motor. Lalu pada mode ini juga tegangan AC yang telah disearahkan menjadi DC yang memiliki tegangan keluaran sebesar 40,52 Volt dinaikan menggunakan *boost converter*.

Pada mode penyearah ini masih memiliki nilai ripple (riak gelombang) yang cukup besar. Jadi untuk memperhalus nilai ripple tersebut maka digunakanlah filter kapasitor yang dipasang secara paralel pada beban.

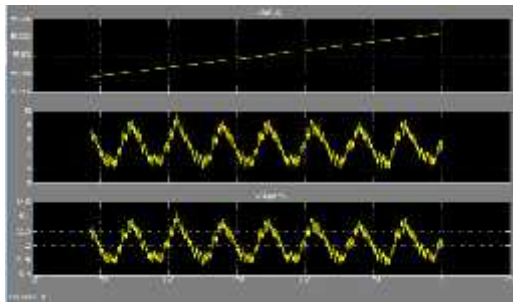
Dibawah ini merupakan gambar bentuk arus dan tegangan pengisian pada baterai, yaitu:



Gambar 4.7 Tegangan (bawah) dan arus (atas) Pengisian Baterai

Selanjutnya, gambar 4.8 dibawah ini menunjukkan hasil keluaran simulasi penyearah dengan waktu 2 detik. Pada gambar tersebut dapat kita lihat nilai keluaran state of charge (SOC), nilai arus dan juga nilai tegangan pada baterai. Nilai

state of charge (SOC) menggambarkan energi yang tersedia pada baterai yaitu pada kondisi 55% sedangkan dapat dilihat dari hasil grafik keluaran pada baterai mencapai 55,04%, ini menunjukkan bahwa terjadi pengisian muatan pada baterai. Kemudian dapat dilihat juga pada grafik arus keluaran pada gambar 4.8 sebesar 7,977 Ampere, dan pada grafik tegangan keluaran menunjukkan angka sebesar 52,03 Volt.



Gambar 4.8 Keluaran SOC, arus, dan tegangan pengisian muatan baterai

IV. Kesimpulan Dan Saran

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa maka kesimpulannya adalah sebagai berikut:

1. Pada mode inverter, desain inverter yaitu menggunakan metode SPWM sebagai pengaturan saklar. Pada hasil simulasi, inverter tiga fasa dapat menjalankan motor induksi tiga fasa 30 V_{LL} . Dimana inverter ini menggunakan tegangan masukan dari baterai 48 Volt.
2. Pada saat kondisi *steady state*, saat sepeda listrik tanpa beban pada frekuensi 50 Hz arus motor induksi sebesar 2,5 A dengan kecepatan rotor motor mencapai 750 rpm.
3. Pada mode rectifier, tegangan masukan AC dari sumber tiga fasa sebesar 24,5 $V_{ac,peak}$ dapat mengisi baterai DC dengan keluaran rectifier sebesar 40,52 Volt.

4. Pada hasil simulasi rectifier didapat tegangan pengisian sebesar 52,03 Volt dan arus pengisian sebesar 7,977 Ampere.

B. Saran

1. Untuk mode inverter, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam mendesain maupun menganalisa inverter tiga fasa metode SPWM.
2. Untuk mode rectifier, diperlukan pengontrol arus agar arus pengisian tetap dalam keadaan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliyan, Lalu. 2014. "*Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM*". Jurnal EECCIS, Teknik Elektro, Universitas Merdeka Malang.
- Hutagaol, 2010. Dasar Teori Motor Induksi 3 Fasa, Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Muchlishah. 2008. "*Simulasi Unjuk Kerja Motor Induksi Dengan Catu PWM Inverter*". Skripsi Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Pujiriyanto, Andry. 2004. "Cepat Mahir Matlab". Informatika Universitas Syiah Kuala. Bandar Aceh.
- Putra, Muclas. 2014. "*Perancangan Prototipe Konverter DC ke DC Penaik Tegangan Dengan Variabel Tegangan pada Sisi Output*". Jurnal Program Studi Teknik, Elektro Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
- Prayoga, Rudito. 2012. "*Pengaturan PWM dengan PLC*". Jurnal Teknik

- Otomasi, Universitas Brawijaya, Malang.
- Rashid, Muhammad. "*Power Electronics handbook Devices, Circuits, and Application*". 2007. epartment of Electrical and Computer Engineering University of West Florida Pensacola, Florida.
- Situmorang, Leonardo. 2012. "*Perancangan Bidirectional Inverter Untuk DC Mikrogrid*". Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Slamet dan Feri Yusivar. 2008. "*Perancangan Rangkaian Kontrol Kecepatan Motor Induksi AC Tiga Fasa Menggunakan Metode Space Vector dan Kendali V/f Konstan Berbasis Microcontroller AVR Tipe ATMEGA16*". Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen. Universitas Indonesia. Depok.
- Suryo, Permadi. 2012. "*Lithium Ion And Nickel Cadmium Battery*". Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Tan, Nadia . 2014." *Model Predictive Control of a Bidirectional AC – DC Converter for V2G and G2V Application in Electric Vehicle Batteray Charger*". Jurnal, Teknik Elektro, Universitas Tenaga Nasional, Malaysia.
- Zuhal, 1991. "*Dasar Tenaga Listrik*". Bandung: ITB Bandung